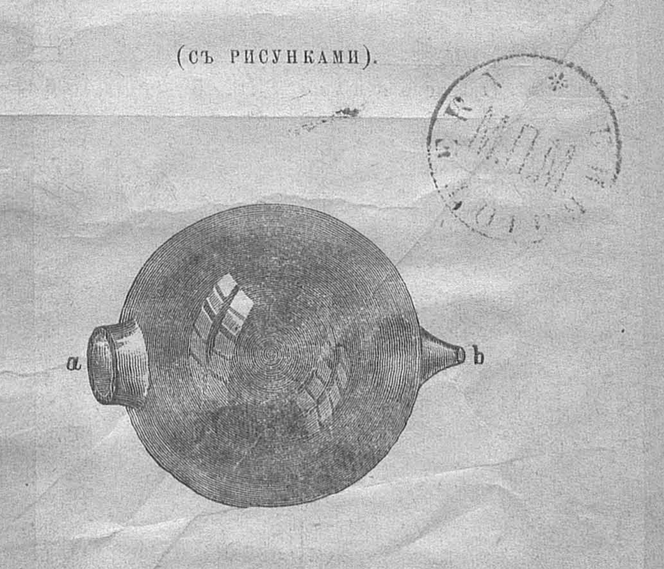
2239

СОЧИНЕНІЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА.

№ 2.

О ФИЗІОЛОГИЧЕСКИХЪ ПРИЧИНАХЪ МУЗЫКАЛЬНОЙ ГАРМОНІИ.

(СЪ РИСУНКАМИ).



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
[illegible] Гороховая, № 12.
1896.

Дозволено цензурою СПБ. 16 апрѣля 1896 г.



О физіологическихъ причинахъ музыкальной гармоніи.

Музыка до сихъ поръ менѣе всѣхъ другихъ искусствъ подвергалась научной обработкѣ. Поэзія, живопись и скульптура берутъ матеріалъ для своихъ образовъ изъ міра доступнаго чувственному опыту,—онѣ изображаютъ природу и человѣка.—Этотъ матеріалъ можно критиковать съ точки зрѣнія вѣрности и соотвѣтствія съ природой, и въ изслѣдованіи причинъ эстетическихъ наслажденій, вызываемыхъ произведеніями этихъ искусствъ, наука сдѣлала уже кое-какіе успѣхи, хотя нѣкоторые энтузіасты искусства и оспариваютъ у нея право критиковать его. — Музыка не беретъ матеріала изъ области чувственнаго опыта и не стремится описывать внѣшній міръ; поэтому она гораздо менѣе доступна научному изслѣдованію и кажется, на первый взглядъ, столь же непонятной и чудесной, насколько она могущественна по своему вліянію на человѣка.

Мы ограничимся пока изслѣдованіемъ матеріала музыки—звуковъ или звуковыхъ ощущеній. Во мнѣ всегда вызывалъ живой интересъ тотъ удивительный фактъ, что въ ученіи о звукѣ, — въ физическомъ и техническомъ основаніи музыки, которая вызываетъ въ нашей душѣ столь непонятныя, неподдающіяся описанію настроенія при помощи кратковременнаго скоропреходящаго дѣйствія, оказалась столь полезной математика—наука самаго чистаго и строгаго мышленія.—Вѣдь генералъбасъ есть ничто иное какъ своего рода прикладная математика.—Въ гармоніи и ритмѣ, отношенія цѣлыхъ чиселъ,—иногда даже логариѳмовъ—играютъ выдающуюся роль.—Музыка и математика суть самые рѣзкіе контрасты, какіе только можно найти въ духовной жизни человѣка; и все-таки одна изъ нихъ опирается на другую, и онѣ связаны другъ съ другомъ, какъ бы доказывая послѣдовательность всѣхъ проявленій нашей души—послѣдовательность, благодаря которой мы можемъ даже въ творчествѣ художественнаго генія замѣчать безсознательное выраженіе таинственно дѣйствующей разумности.

Желая сообщить вамъ нѣкоторую долю того интереса, который вызвали во мнѣ эти вопросы, я изложу нѣкоторые факты физической и физіологической акустики. — Такъ какъ за недостаткомъ мѣста я долженъ ограничиться только самымъ существеннымъ, то я выберу такой именно вопросъ, при объ-

ясненіи котораго вы всего яснѣе увидите, какіе важные результаты можетъ дать научное изслѣдованіе этой области, — именно вопросъ о причинахъ гармоническаго созвучія. — Дознано, что числа колебаній гармоническихъ звуковъ находятся всегда въ отношеніи малыхъ цѣлыхъ чиселъ. Почему это такъ? Какую связь можетъ имѣть отношеніе цѣлыхъ чиселъ къ гармоническому созвучію? — Вотъ вопросъ, который задалъ человѣчеству еще Пиѳагоръ, и на который мы попытаемся отвѣтить, польиуясь данными современной науки.

Звукъ.

Что такое звукъ? — Ежедневный опытъ учитъ насъ, что всѣ звучащія тѣла находятся въ состояніи колебанія. — Мы видимъ и чувствуемъ это колебаніе, а при сильныхъ звукахъ мы даже чувствуемъ сотрясеніе окружающаго насъ воздуха, не касаясь звучащаго тѣла.

Далѣе, физика учитъ, что всякій рядъ достаточно быстро повторяющихся толчковъ, приводящихъ воздухъ въ состояніе сотрясенія, вызываетъ въ немъ извѣстный звукъ. — Звукъ дѣлается музыкальнымъ, если быстрые толчки повторяются періодически черезъ совершенно равные промежутки времени; напротивъ, непеіодическія сотрясенія воздуха вызываютъ только шумъ. Высота музыкальнаго звука зависитъ отъ числа такихъ колебаній въ секун-

ду: чѣмъ больше колебаній въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени, тѣмъ выше соотвѣтствующій звукъ. При этомъ, какъ уже было замѣчено выше, обнаруживается тѣсная зависимость между извѣстными гармоническими музыкальными интервалами и числомъ колебаній воздуха; если при одномъ звукѣ число колебаній вдвое больше, чѣмъ при другомъ, то первый звукъ есть верхняя октава второго, если же отношеніе числа колебаній въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени есть 2 : 3, то эти звуки образуютъ квинту, если же числа колебаній будутъ относиться какъ 4 : 5, то звуки образуютъ большую терцію. Если мы замѣтимъ, что числа колебаній звуковъ мажорнаго аккорда (do, mi, sol, do) относятся какъ 4 : 5 : 6 : 8, то мы можемъ получить числа колебаній всѣхъ другихъ звуковъ, строя этотъ аккордъ, начиная съ каждой изъ указанныхъ нотъ.—Такимъ образомъ число колебаній при различныхъ звукахъ, что легко можно вычислить по вышеуказанному способу, весьма различно.—Верхняя октава каждаго звука колеблется вдвое быстрѣе, чѣмъ основной звукъ, поэтому вторая октава основного звука колеблется въ 4 раза быстрѣе, 3-я въ 8 разъ и т. д.

У нашихъ роялей обыкновенно бываетъ 7 октавъ; очевидно, что высшій ихъ звукъ колеблется 128 ($=2^7$) разъ въ тотъ же промежутокъ времени, въ который низшій—колеблется 1 разъ.—Самое низкое do нашихъ роя-

лей, которое соотвѣтствуетъ открытой органной трубѣ длиною въ 16 футовъ, (музыканты называютъ его обыкновенно контра—С) совершаетъ 33 колебанія въ секунду. Тутъ уже почти граница нашего слуха. На рояли вы можете замѣтить, что это глухіе неясные звуки, высоту и чистоту которыхъ трудно разслышать. У органа contra—С нѣсколько сильнѣе, чѣмъ у струнныхъ инструментовъ, но и здѣсь ухо наше не можетъ ясно чувствовать его.—У самыхъ большихъ органовъ есть еще цѣлая октава ниже этого contra — С, ее могутъ дать трубы длиною въ 32 фута, которыя совершаютъ $16^1/_2$ колебаній въ секунду, но эти ноты ухо слышитъ какъ какое-то глухое гудѣніе, и чѣмъ ниже онѣ, тѣмъ яснѣе мы можемъ разобрать отдѣльныя сотрясенія воздуха. Поэтому въ музыкѣ ими пользуются только для усиленія ихъ верхнихъ октавъ, которымъ они придаютъ оттѣнокъ большей глубины.

Всѣ инструменты, за исключеніемъ оргàна, не смотря на все разнообразіе средствъ, кототорыми они воспроизводятъ звуки, ограничиваются приблизительно тѣмъ же низкимъ регистромъ музыкальной гаммы, какъ и рояль, не потому, что невозможно вызвать достаточно сильныхъ и болѣе медленныхъ сотрясеній воздуха, а потому, что дальше ухо наше уже отказывается служить и чувствуетъ только отдѣльные толчки, не суммируя ихъ въ звуковое ощущеніе. Утвержденіе французскаго физика

Savart'a, что ему удалось услышать издаваемый спеціально для этого устроеннымъ имъ инструментомъ звукъ въ 8 колебаній въ секунду, основывается вѣроятно на ошибкѣ.

Регистръ рояли простирается вверхъ отъ Contra-*do* или С до его седьмой октавы, которая издается 4224 колебаніями въ секунду. Изъ оркестровыхъ инструментовъ только пикколa можетъ издать такой высокій звукъ, и даже еще тономъ выше.

На скрипкѣ пользуются обыкновенно регистромъ только до *mi*, издаваемаго 2640 колебаніями въ секунду, если не считать нѣкоторыхъ виртуозовъ, которые охотно воспроизводили мелодіи въ болѣе высокомъ регистрѣ, чтобы сильнѣе терзать нервы слушателей.

За do-нотой, соотвѣтствующей 4224-мъ колебаніямъ въ секунду, есть еще цѣлыя три октавы слышимыхъ, но очень непріятныхъ для нашего слуха звуковъ. Despretz говоритъ, что, приводя въ сотрясеніе при помощи скрипичнаго смычка маленькіе камертоны, онъ воспроизвелъ ноту do въ 32770 колебаній въ секунду.

Но уже тутъ высота доступныхъ нашему слуху звуковъ достигла своего предѣла, и въ послѣднихъ октавахъ уже почти нельзя было отличать интервалы. Высота музыкальнаго звука зависитъ только отъ числа колебаній воздуха въ секунду и нисколько не зависитъ отъ способа, какимъ ихъ вызываютъ. Совершенно безразлично, вызваны ли они сотрясеніемъ струнъ

рояли, или скрипки, или голосовыми связками человѣческаго горла, или металлическими язычками гармоніи, и т. д.

Звуки, вызванные однимъ и тѣмъ же числомъ колебаній въ секунду, всегда одной и той же высоты. То, чѣмъ отличается, напримѣръ, нота рояли отъ того же la на скрипкѣ, на флейтѣ, на кларнетѣ, называется *тембромъ* звука.

Изъ вышесказаннаго мы заключаемъ, что наше ухо подвержено дѣйствію колебаній воздуха, число которыхъ въ секунду находится въ предѣлахъ приблизительно отъ 20 до 32000, и что вслѣдствіе этого дѣйствія возникаетъ ощущеніе звука.

Это ощущеніе является не благодаря особеннымъ свойствомъ этихъ колебаній, но благодаря особенной способности нашего уха и нашихъ слуховыхъ нервовъ. Я уже выше указывалъ, что при сильныхъ звукхъ, мы и кожей чувствуемъ колебанія воздуха, и глухонѣмые могутъ чувствовать движеніе воздуха, которое мы называемъ звукомъ, но они его не слышатъ, т. е. не имѣютъ въ ухѣ ощущенія звука, а чувствуютъ его нервами кожи и, соотвѣтственно способности этихъ нервовъ, слышатъ его не какъ музыкальный звукъ, а какъ нѣкотораго рода свистъ. И предѣлы продолжительности колебанія, въ которыхъ ухо ощущаетъ его какъ звукъ, зависятъ отъ особенности строенія уха.

Если сирена (Рис. 1) вращается медленно, и если, вслѣдствіе этого, толчки воздуха слѣ-

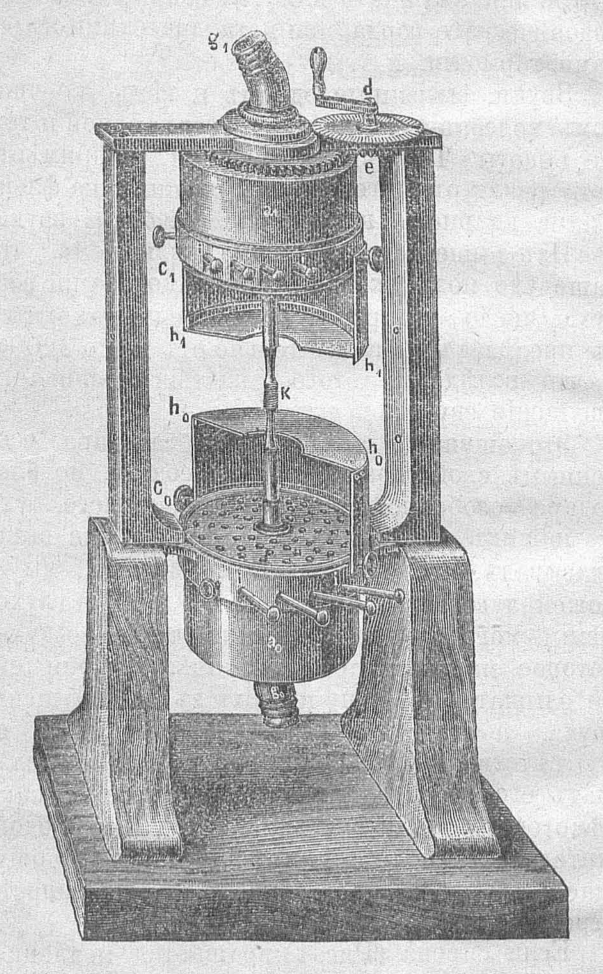


Рис. 1.

дуютъ медленно другъ за другомъ, то мы еще не слышимъ звука; если же сирена начнетъ вращаться все быстрѣе и быстрѣе, то внѣ уха въ самыхъ колебаніяхъ не произойдетъ существенныхъ перемѣнъ, но возникаетъ ощущеніе въ ухѣ, которое только теперь начинаетъ поддаваться дѣйствію этихъ колебаній, и поэтому мы даемъ болѣе быстрымъ колебаніямъ новое названіе,—звукъ.

Кто любитъ парадоксы, тотъ можетъ сказать, что колебанія воздуха только тогда становятся звукомъ, когда онѣ достигаютъ слышащаго уха.

Теперь я опишу подробнѣе распространеніе звука черезъ воздушное пространство. Движеніе воздушной массы, когда черезъ нее проходитъ звукъ, принадлежитъ къ числу такъ называемыхъ волнообразныхъ движеній—особый родъ движеній, играющихъ въ физикѣ очень важную роль, потому что, кромѣ звука, еще свѣтъ представляетъ собою движеніе того же рода.

Названіе „волнообразныя“ взято изъ сравненія съ волнами водныхъ поверхностей, и на этихъ волнахъ мы лучше всего можемъ замѣтить особенности такихъ движеній.

Если мы произведемъ сотрясеніедвъ какой нибудь точкѣ спокойной водной поеврхности, напримѣръ бросимъ туда камень, то ваиженіе, вызванное этимъ паденіемъ, распространяется по всѣмъ направленіямъ водной поверсности концентрическими кругами. Круги эти тано-

вятся все больше и больше, между тѣмъ какъ въ центрѣ уже возстановленъ покой. При этомъ высота волнъ становится тѣмъ ниже, чѣмъ дальше удалены онѣ отъ центра и, мало по малу, онѣ совсѣмъ исчезаютъ. При такомъ движеніи волнъ мы различаемъ возвышенныя части или гребни волнъ и впадины. Подъемъ и впадина вмѣстѣ называются волною, а длиною волны мы считаемъ разстояніе отъ вершины одного подъема до вершины слѣдующаго [1]). Когда волна бѣжитъ на поверхности жидкости, частицы

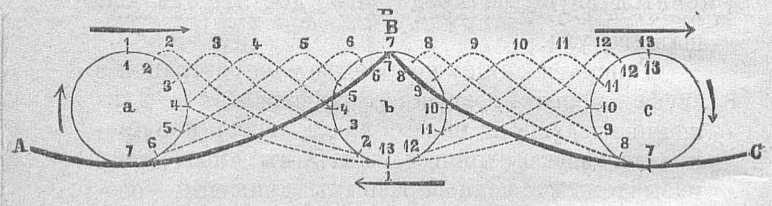


Рис. 2.

воды не бѣгутъ вмѣстѣ съ нею; это легко замѣтить, когда на водѣ плаваетъ поплавокъ. Волны, достигая поплавка, поднимаютъ и опускаютъ его, но когда онѣ прошли поплавокъ, онъ оказывается на прежнемъ мѣстѣ. Но плавающее тѣло должно производить тѣ же движенія, которыя производятъ окружающія его частицы воды. Изъ этого мы заключаемъ, что эти частицы не послѣдовали за волною, но

[1]) Рис. 2 изображаетъ поперечный разрѣзъ поверхности воды, на которой произведены волны. Круги a, b, c обозначаютъ движенія нѣкоторыхъ частицъ воды.

поднявшись и опустившись нѣсколько разъ, остались на прежнемъ мѣстѣ. Когда по поверхности воды распространяется волна, частицы воды не перемѣщаются въ горизонтальномъ направленіи, и только измѣненіе формы поверхности проходитъ послѣдовательно по всѣмъ ея точкамъ. Траекторіи отдѣльныхъ частицъ воды представляютъ собою вертикальныя круговыя орбиты, по которымъ онѣ двигаются съ приблизительно одинаковою скоростью, когда по нимъ пробѣгаютъ волны.

Чтобы перейти отъ волнъ водной поверхности къ звуковымъ волнамъ, надо вообразить себѣ, что вмѣсто воды мы имѣемъ упругую жидкость (такую жидкость представляетъ собою воздухъ), и что волны на ея поверхности прижаты горизонтальной доскою такъ, что жидкость не можетъ разойтись въ горизонтальномъ направленіи.

Подъ подъемами волнъ, гдѣ, слѣдовательно, было болѣе жидкости, она наиболѣе сгустится, а въ впадинахъ сгущеніе будетъ менѣе значительно. Такимъ образомъ вмѣсто подъемовъ волнъ получатся сгущенные слои воздуха, вмѣсто впадинъ — менѣе плотные слои. Теперь представимъ себѣ, что эти придавленныя волны распространяются такъ же, какъ и прежде, и что вертикальныя круговыя траекторіи обратились, благодаря давленію, въ горизонтальныя прямыя.

Такимъ образомъ и звуковыя волны обладаютъ тѣмъ свойствомъ, что отдѣльныя частицы

воздуха колеблются по своей траекторіи, а самая волна представляетъ собою перемѣщающуюся форму поверхности, составляющуюся изъ все новыхъ и новыхъ частицъ жидкости.

Таковы звуковыя волны, распространяющіяся въ горизонтальномъ направленіи. Но распространеніе звуковыхъ волнъ не ограничивается, какъ распространеніе волнъ водной поверхности, однимъ горизонтальнымъ направленіемъ, а можетъ распространяться по всѣмъ направленіямъ пространства. Если представить себѣ, что волны, вызванныя паденіемъ въ воду камня, распространяются по всѣмъ направленіямъ, то получатся сферическія волны, которыми распространяется звукъ.

Теперь мы можемъ продолжить изученіе свойствъ звукового движенія путемъ сравненія его съ движеніемъ волнующейся водной поверхности. Длина водяныхъ волнъ весьма разнообразна; паденіе капли дождя и легкое дуновеніе вѣтра вызываютъ на зеркальной поверхности только легкія морщины, волны, оставляемыя за собою пароходомъ, уже настолько значительны, что могутъ довольно сильно качать пловца или лодку, а волны бушующаго океана уже могутъ вмѣстить въ одной своей впадинѣ цѣлый линейный корабль во всю длину его киля; черезъ вершину ихъ, можно видѣть горизонтъ только поднявшись на высокую мачту. Въ звуковыхъ волнахъ мы находимъ почти такое же разнообразіе: маленькимъ морщинамъ водной поверхности съ незначительною

длиною соотвѣтствуютъ высокіе звуки, длиннымъ морскимъ волнамъ—низкіе. Contra-do вызывается волною длиною въ 35 футовъ, его верхняя октава—волною вдвое короче, а самыя высокія ноты рояля получаются отъ колебанія въ 3 дюйма. И такъ, вы видите, что *высота звука находится въ связи съ длиною волны*; теперь я прибавлю, что *сила или интензивность звука соотвѣтствуетъ высотѣ подъема волны или*, переходя къ воздуху, *разности плотностей двухъ сосѣднихъ слоевъ*. Но волны одинаковой высоты могутъ имѣть еще различныя формы: такъ, напримѣръ, вершина волны можетъ быть круглой или заостренной. Подобная же разница можетъ существовать и у звуковыхъ волнъ одинаковой высоты и силы, и *отъ нея то и зависитъ тембръ звука*. Понятіе о формѣ водяной волны переносится также и на звуковыя волны, потому что, если мы представимъ себѣ, что волны различной формы были придавлены вышеупомянутымъ способомъ, то полученная плоская поверхность не будетъ, конечно, обнаруживать прежняго различія формъ, но внутри водяной массы давленіе и плотность будутъ распредѣлены неравномѣрно, соотвѣтственно различію формы еще непридавленной поверхности. Въ этомъ смыслѣ мы можемъ говорить и о формѣ звуковыхъ волнъ и можемъ условно изображать ихъ. Кривая у насъ поднимается, гдѣ возрастаетъ давленіе, и опускается, гдѣ давленіе понижается, какъ будто бы подъ кривою была сжатая жидкость, поверхность которой должна

совпасть съ кривой, если плотность сдѣлается во всѣхъ точкахъ жидкости одинаковой.

Но къ сожалѣнію, мы до сихъ поръ только въ немногихъ случаяхъ можемъ опредѣлить форму звуковыхъ волнъ, соотвѣтствующихъ тембру различныхъ звучащихъ тѣлъ. Между формами звуковыхъ волнъ, которыя мы можемъ опредѣлить болѣе или менѣе точно, есть одна особенно важная, называемая простою или чистою формою волны (черт. 3).

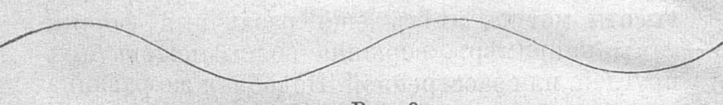


Рис. 3.

Такую форму видно у водяныхъ волнъ, только когда онѣ низки сравнительно съ своею длиною.

Подъемы и впадины, не круто загруглены, одинаковой ширины и симметричны, такъ что, если, перевернувъ поверхность, мы наложимъ ее на прежнюю подъемами на впадины и наоборотъ, то обѣ поверхности совпадутъ.

Еще точнѣе характеризуется эта форма волны тѣмъ, что частицы воды проходятъ круглыя траекторіи весьма малаго радіуса съ одинаковой скоростью во всѣхъ точкахъ своего пути.

Соотвѣтствующій этой простой формѣ волнъ родъ звуковъ мы назовемъ „простыми" (причины такого наименованія будутъ указаны ниже). Такіе звуки можно услышать, если под-

нести звучащій камертонъ къ соотвѣтствующему резонатору.

Звуки хорошихъ человѣческихъ голосовъ, поющихъ въ среднемъ своемъ регистрѣ гласный, довольно близко подходятъ къ простому звуку

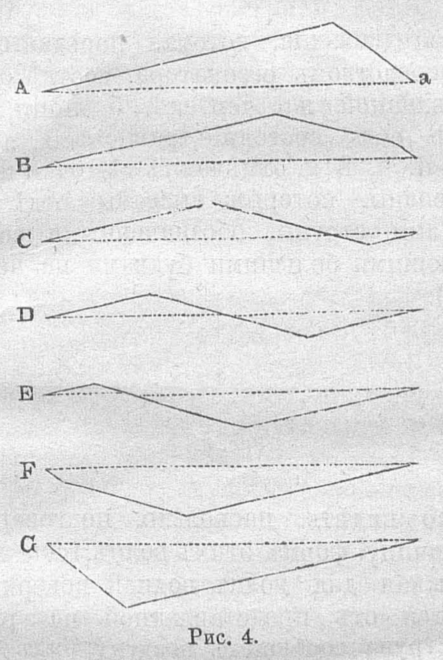


Рис. 4.

Кромѣ того, нами достаточно хорошо изучены законы колебанія струнъ, чтобы мы могли сообщаемое ими воздуху.

Чертежъ 4 изображаетъ послѣдовательныя

формы струны, которую задѣли твердой палочкой (напримѣръ струны цитры) (Рис. 4).

А изображаетъ струну въ начальный моментъ колебанія, затѣмъ черезъ равные промежутки времени слѣдуютъ формы B, C, D, E, F, G и затѣмъ обратно F, E, D, C, B, A и т. д.

Форма движенія, которая передается воздуху посредствомъ резонатора, соотвѣтствуетъ представленной на чертежѣ 5 линіи, причемъ hh есть состояніе равновѣсія, а буквы a, b, c, d, e, f, g, отмѣчаютъ тѣ точки поверхности волны, которыя вызваны отдѣльными состояніями струны, обозначенными соотвѣтвѣтствующими большими буквами на чертежѣ (Рис. 5).

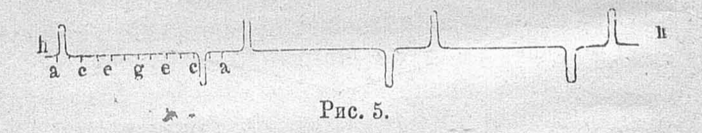


Рис. 5.

Легко видѣть, насколько, не говоря уже про величину, форма этихъ волнъ, (совершенно невозможная для волнъ водной поверхности) уклоняется отъ представленной на рис. 3; здѣсь струна сообщаетъ воздуху рядъ короткихъ толчковъ, направленныхъ попеременно въ противоположныя стороны.

Волны, вызываемыя звуками скрипки, можно изобразить ломанною линіею (черт. 6). Въ теченіе всего періода колебаній давленіе равно-

мѣрно повышается, а въ концѣ періода оно сразу спадаетъ до своего минимума.

Такому различію формы звуковой волны соотвѣтствуетъ, какъ уже было выше сказано, различіе музыкальнаго тембра. Но это соотвѣтствіе мы можемъ выяснить и еще дальше; чѣмъ ровнѣе и закругленнѣе форма волны, тѣмъ пріятнѣе и мягче тембръ, чѣмъ острѣе и угловатѣе волна, тѣмъ звукъ рѣзче. Камертоны издаютъ чрезвычайно мягкіе звуки: ихъ волны имѣютъ форму черт. 3; звуки скрипки или цитры настолько же рѣзки, насколько рѣзки изгибы линій черт. 5 и 6.

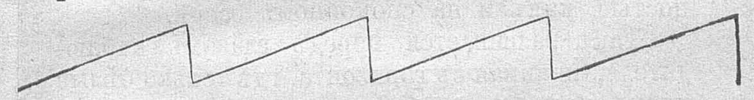


Рис. 6.

Теперь я обращу ваше вниманіе на поучительное зрѣлище, доставлявшее мнѣ много удовольствія, такъ какъ оно въ распространенныхъ въ воздухѣ звуковыхъ волнахъ обнаруживаетъ передъ физіологическимъ зрѣніемъ то, что можетъ замѣтить только духовное зрѣніе мыслителя-математика.

Я разумѣю подъ этимъ наложеніе другъ на друга многихъ разнообразныхъ системъ волнъ, изъ которыхъ каждая безпрепятственно выполняетъ свое движеніе. Мы можемъ наблюдать его съ каждаго моста на поверхности рѣки, но еще лучше, если мы займемъ возвышенную позицію на берегу моря.

Безконечное число разнообразныхъ волнъ различной длины распространяются по поверхности воды по всѣмъ направленіямъ. Наиболѣе длинныя волны бѣгутъ обыкновенно изъ открытаго моря; болѣе короткія возникаютъ тамъ, гдѣ съ шумомъ разбились длинныя волны, и бѣгутъ обыкновенно отъ берега.

Хищная птица, схватывая рыбу, ударитъ гдѣ нибудь крыльями по поверхности и возбудитъ этимъ движеніемъ цѣлую систему кругообразныхъ волнъ, которыя, покачиваясь на другихъ волнахъ, распространяются по поверхности бушующаго моря съ такою же правильностью, какъ и на спокойномъ озерѣ.

Такъ развивается передъ глазомъ наблюдателя, начиная съ горизонта, гдѣ только бѣлыя линіи пѣны на голубой какъ сталь поверхности обнаруживаютъ движеніе, и до песка у его ногъ, гдѣ остаются отъ волнъ дугообразные слѣды, величественная картина неизмѣримой силы и постоянно мѣняющагося разнообразія; но эта картина не смущаетъ наблюдателя, а наоборотъ, она какъ бы возвышаетъ его и приковываетъ къ себѣ его вниманіе, такъ какъ и въ этомъ разнообразіи онъ замѣчаетъ порядокъ и извѣстную закономѣрность. Точно также въ воздухѣ концертнаго или бальнаго зала распространяются различныя системы волнъ, но уже не въ одной только плоскости, а по всѣмъ тремъ измѣреніямъ пространства. Голосовыя связки мужчинъ даютъ волны длиною отъ 6 до 12 футовъ, а короткія волны въ 1½—3

футовъ выходятъ изъ женскаго горла. Шуршаніе платьевъ вызываетъ весьма незначительное движеніе, а каждая нота оркестра возбуждаетъ цѣлую систему волнъ и всѣ эти системы распространяются сферами вокругъ своего главнаго источника, пересѣкаются, перекрещиваются, отскакиваютъ отъ стѣнъ залы, и двигаются такимъ образомъ до тѣхъ поръ, пока ихъ не подавитъ новая болѣе сильная система звуковъ. Конечно, всего этого въ высшей степени разнообразнаго движенія замѣтить глазами мы не можемъ, и вотъ на помощь къ намъ является другой органъ человѣческаго тѣла—ухо, оно разлагаетъ эту путаницу движеній, которая во много разъ труднѣе и запутаннѣе, чѣмъ вся совокупность морскихъ волнъ, на отдѣльные звуки, изъ которыхъ она составляется, и различаетъ голоса мужчинъ и женщинъ, и даже голоса отдѣльныхъ индивидуумовъ, отличаетъ также звуки отдѣльныхъ инструментовъ, шуршанье платьевъ, шумъ шаговъ и т. д.

Если, какъ мы уже говорили немного выше, хищная птица коснется поверхности бушующаго моря, то этимъ прикосновеніемъ она возбудитъ цѣлый рядъ кругообразныхъ волнъ, которыя такъ же медленно и равномѣрно распространяются по волнующейся поверхности, какъ и по спокойной. Форма поверхности воды въ этомъ случаѣ, какъ и въ другихъ болѣе сложныхъ, опредѣляется тѣмъ, что высота каждой точки равняется суммѣ высотъ всѣхъ находящихся въ данный моментъ въ этой точкѣ подъе-

мовъ волнъ, безъ суммы высотъ впадинъ, находящихся тамъ же въ тотъ же самый моментъ. Такую сумму положительныхъ (высотъ подъемовъ) и отрицательныхъ (высотъ впадинъ) величинъ (причемъ абсолютныя величины послѣднихъ вычитаются изъ первыхъ, а не прибавляются къ нимъ) называютъ алгебраической суммой, и въ этомъ смыслѣ можно сказать, что высота каждой точки водной поверхности равняется алгебраической суммѣ высотъ частей волнъ, находящихся въ данный моментъ въ этой же точкѣ.

Съ звуковыми волнами происходитъ почти то же самое: и онѣ суммируются въ каждой точкѣ пространства, и на наше ухо вліяетъ сгущеніе и быстрота движенія частицъ воздуха, которыя равны алгебраической суммѣ величинъ быстроты и сгущенія, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ системамъ волнъ. Это одно движеніе воздуха, вызванное совмѣстнымъ дѣйствіемъ нѣсколькихъ звучащихъ тѣлъ, человѣческое ухо должно опять таки расчленить на части, которыя соотвѣтствовали бы дѣйствію каждаго отдѣльнаго тѣла; при этомъ ухо находится въ несравненно менѣе благопріятныхъ условіяхъ, чѣмъ глазъ, который можетъ единовременно охватить всю волнующуюся поверхность, тогда какъ первое воспринимаетъ движеніе только ближайшихъ къ нему частицъ воздуха. И все таки оно выполняетъ свою задачу очень опредѣленно, вѣрно и точно. Эта способность нашего слухового органа играетъ весьма важную

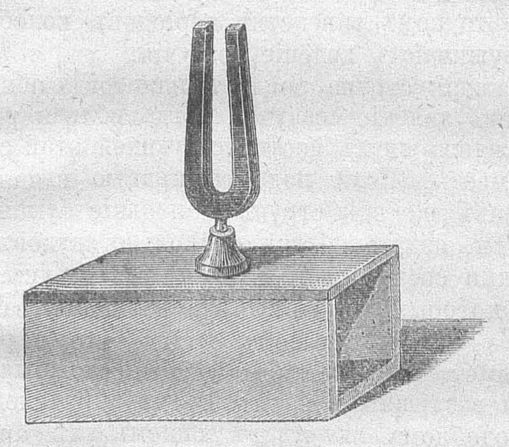
роль; она необходима, такъ какъ безъ нея мы не могли бы различать отдѣльныхъ звуковъ.

Новѣйшія открытія въ области анатоміи даютъ поводъ надѣяться, что намъ удастся разъяснить эту способность нашего уха. Вѣроятно, вы замѣчали уже въ музыкальныхъ инструментахъ, главнымъ образомъ въ струнныхъ, такъ называемое явленіе созвучія. Струна рояли, если взять правую педаль или нажать ея клавишу, начнетъ колебаться, когда вблизи нея съ достаточной силой будетъ взятъ звукъ той же высоты. Когда мы прекратимъ этотъ звукъ, то все еще будемъ его слышать нѣкоторое время уже отъ струны рояли. Если на струну надѣть перегнутую бумажку, то она соскочитъ съ нея, если вблизи взята нота этой струны. Явленіе созвучія происходитъ отъ того, что колеблющіяся частицы воздуха сообщаютъ струнѣ свое колебаніе. Каждое отдѣльное волнообразное движеніе воздуха дѣйствуетъ, конечно, слишкомъ слабо, чтобы вызвать замѣтное колебаніе струны, проходя мимо нея. Но если длинный рядъ такихъ движеній сообщаетъ струнѣ такіе толчки, что каждый послѣдующій увеличиваетъ немного сотрясеніе, вызванное предшествующими, то ихъ дѣйствіе становится наконецъ замѣтнымъ. Это явленіе того же рода, какое наблюдается въ колоколѣ громаднаго вѣса, языкъ котораго чуть замѣтно трогается съ мѣста отъ толчка сильнаго мужчины, между тѣмъ какъ ребенокъ можетъ понемногу очень сильно раскачать его,

дергая за веревку черезъ промежутки времени, равные періоду качанія языка. Это странное усиленіе колебанія находится въ существенной связи съ періодомъ времени, черезъ который дергаютъ за веревку. Если языкъ колокола уже приведенъ въ маятниковообразное движеніе, хотя и незначительной амплитуды, и если мальчикъ будетъ тянуть за канатъ только тогда, когда направленіе его силы будетъ тождественно съ направленіемъ уже имѣющагося движенія языка, то онъ каждый разъ будетъ хоть немного увеличивать его движеніе; но такимъ образомъ амплитуда качанія мало по малу достигнетъ значительныхъ размѣровъ. Но если бы мальчикъ прилагалъ свою силу черезъ неправильные промежутки времени,—то усиливая движеніе языка, то ослабляя его,—тогда бы ему не удалось достигнуть значительныхъ результатовъ. Какъ мальчикъ можетъ раскачать языкъ колокола, такимъ же образомъ и колебанія легкаго и удобосжимаемаго воздуха могутъ привести въ движеніе тяжелую и крѣпку массу стального камертона, если высота звука, вызваннаго въ воздухѣ, точно соотвѣтствуетъ высотѣ камертона, потому что и тутъ каждый напоръ воздушной волны усиливаетъ движеніе, которое было вызвано предшествующими волнами.

Всего лучше пользоваться для этого опыта камертономъ, укрѣпленнымъ на резонаторѣ, а другимъ камертономъ того же строя возбуждать въ воздухѣ звукъ. Если мы ударимъ по одному изъ нихъ, то черезъ нѣсколько секундъ

мы услышимъ, что звенитъ и другой. Когда же мы прекратимъ звученіе перваго камертона (приложивъ къ нему палецъ), второй все еще будетъ издавать звукъ. Если же отнять палецъ отъ перваго, то второй въ свою очередь приведетъ его опять въ движеніе и т. п.



Черт. 7.

Но если налѣпить немного воску на концы одного камертона, благодаря чему высота его измѣнится едва замѣтнымъ образомъ для нашего уха, то созвучіе второго камертона прекратится, потому что тогда періоды колебанія уже не будутъ равны и толчки, сообщаемые колебаніями воздуха, которыя въ свою очередь вызваны однимъ камертономъ, другому камертону, хотя и будутъ нѣкоторое время имѣть

одно направленіе съ колебаніями его концовъ, но скоро будутъ замедлять движеніе, вызванное предыдущими толчками.

Для болѣе легкихъ и удобоподвижныхъ тѣлъ, способныхъ издавать звукъ, достаточно самаго незначительнаго числа толчковъ, чтобы привести ихъ въ движеніе, и поэтому они легче и при менѣе точномъ равенствѣ періодовъ колебанія обнаруживаютъ явленіе созвучія.

Каждая струна рояли только тогда обнаруживаетъ явленіе созвучія, когда вблизи рояли возбужденъ звукъ соотвѣтствующей этой струнѣ высоты. Если поднять правую педаль и, насадивъ на всѣ струны маленькіе бумажные обрѣзки, издать вблизи нѣсколько звуковъ, то бумажки соскочатъ только съ тѣхъ струнъ, высота которыхъ соотвѣтствуетъ высотѣ заданныхъ. Такимъ образомъ видно, что и рояль разлагаетъ на составныя части сложныя системы воздушныхъ волнъ. То, что происходитъ въ подобномъ случаѣ въ нашемъ ухѣ, аналогично только что описанному явленію въ рояли. Въ глубинѣ скалистой части височной кости, къ которой обращенъ своимъ отверстіемъ улиткообразный каналъ, находится особый органъ,—такъ называемая улитка (потому что образуетъ наполненную влагою впадину, очень похожую на внутреннее углубленіе раковины нашихъ обыкновенныхъ садовыхъ улитокъ). Каналъ улитки раздѣленъ двумя натянутыми перепонками по всей своей длинѣ на три части—верхнюю, среднюю и нижнюю. Въ средней ча-

сти маркизъ Corti открылъ удивительное устройство: безчисленное количество микроскопически-маленькихъ пластинокъ, расположенныхъ равномѣрно другъ подлѣ друга, какъ клавиши рояли, и одинъ ихъ конецъ сообщается съ волокнами слуховыхъ нервовъ, а другой прикрѣпленъ къ натянутой перепонкѣ. Рисунокъ 8 изображаетъ это сложное устройство. Линіи, идущія отъ перепонки у d n g e и цѣпляющіяся за нее вновь, достигнувъ между m и o наибольшей высоты, представляютъ собою способные колебаться элементы. Онѣ опутаны безчисленнымъ множествомъ маленькихъ волоконъ, достигающихъ ихъ черезъ отверстіе у c; между этими волокнами можно узнать слуховые нервы. Поперечныя волокна у g, h, i, k, и клѣточки у o, вѣроятно, также принадлежатъ къ нервной системѣ. Но позднѣе и въ другой части слухового органа, въ такъ называемомъ преддверіи, гдѣ нервы распространяются по перепончатымъ мѣшечкамъ, плавающимъ въ водѣ, — были открыты эластичные придатки слуховыхъ нервовъ, имѣющихъ форму твердыхъ, короткихъ волосковъ. Устройство этихъ элементовъ не позволяетъ сомнѣваться въ томъ, что звуковыя волны воздуха приводятъ ихъ въ соотвѣтственныя колебанія. Если сдѣлать предположеніе, оказывающееся при ближайшемъ разсмотрѣніи отправленій нашего слухового органа весьма и весьма правдоподобнымъ,—что каждый такой придатокъ настроенъ подобно струнамъ рояли на одинъ тонъ, то мы убѣдим-

ся, что каждый придатокъ будетъ колебаться, и соединенное съ нимъ нервное волокно будетъ испытывать ощущеніе только тогда, когда въ воздухѣ прозвучитъ нота соотвѣтственной высоты, и что присутствіе въ массѣ звуковъ

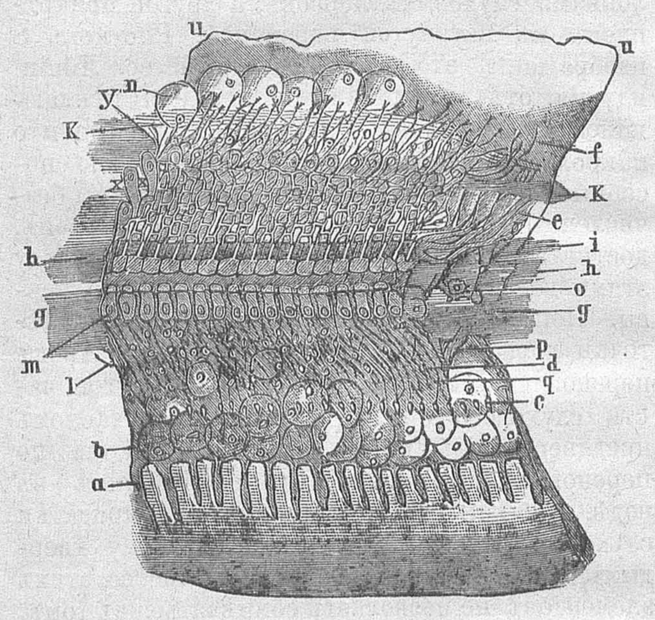


Рис. 8.

каждой отдѣльной ноты обнаруживается особымъ, соотвѣтствующимъ ей, ощущеніемъ.

Итакъ, наше ухо можетъ разлагать движеніе воздуха на его составныя части. Подъ составными движеніями воздуха мы разумѣли до

сихъ поръ только такія, которыя были вызваны одновременнымъ звучаніемъ нѣсколькихъ тѣлъ. Но такъ какъ формы звуковыхъ волнъ различныхъ музыкальныхъ инструментовъ весьма разнообразны, то возможно, что форма колебанія, вызванная въ нашемъ слуховомъ проходѣ однимъ звукомъ, окажется совершенно тождественной съ формой колебанія, происшедшаго отъ совмѣстнаго дѣйствія двухъ или нѣсколькихъ другихъ инструментовъ. Если ухо въ послѣднемъ случаѣ разлагаетъ движеніе на составныя части, то, конечно, оно сдѣлаетъ это и въ первомъ случаѣ,—когда звукъ исходитъ отъ одного инструмента. Я уже раньше говорилъ о простомъ волнообразномъ движеніи,—движеніи съ ровно закругленными подъемами и впадинами. Французскій математикъ Фурье вывелъ относительно простыхъ волнъ извѣстную и очень важную теорему; въ переводѣ съ математическаго языка на общепонятный теорема эта выражается такъ: волнообразное движеніе любой формы можно составить изъ нѣкотораго числа простыхъ волнъ различной длины; длина самой длинной,—основной,—изъ этихъ простыхъ волнъ должна равняться длинѣ заданнаго движенія, а длины остальныхъ должны составлять $1/2$, $1/3$, $1/4$ .... и т. д. ея. При различныхъ совпаденіяхъ подъемовъ и впадинъ этихъ простыхъ волнъ можетъ быть составлено безконечное разнообразіе формъ траекторій волнообразнаго движенія. Пусть волнообразныя кривыя А и В (черт. 9) изображаютъ волны

простыхъ звуковъ, при чемъ B выполняетъ въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени вдвое больше колебаній, чѣмъ A, т. е. B соотвѣтствуетъ верхней октавѣ отъ A. C и D представляютъ собой волны, полученныя отъ геометрическаго сложенія A и B. Линіи, проведенныя пунктиромъ въ началѣ C и D, представляютъ собой повтореніе начала A. Въ C начало кривой B—e наложено на начало кривой A, а въ D на начало A наложена первая впадина B—b_2. Такимъ образомъ возникли двѣ различныя составныя кривыя, изъ которыхъ C круто поднимается и отлого опускается, при чемъ впадины и подъемы могутъ совпасть, если ихъ поворотить, тогда какъ у D заостренные подъемы и закругленныя впадины, но обѣ стороны подъемовъ и впадинъ симметричны. Черт. 10 представляетъ собой другую форму волны, составленной тоже изъ двухъ простыхъ волнъ A и B, при чемъ B совершаетъ въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени втрое болѣе колебаній, чѣмъ A, т. е. B соотвѣтствуетъ дуодецимѣ отъ A. Въ C и D пунктиръ есть повтореніе начала A. C имѣетъ закругленные подъемы и впадины, D—заостренные.

Этихъ простѣйшихъ примѣровъ достаточно, чтобы дать понятіе о разнообразіи формъ, получающихся при такихъ сложеніяхъ. Если мы возьмемъ не два, а нѣсколько простыхъ волнообразныхъ движеній и будемъ произвольно мѣнять высоты волнъ и ихъ начала, то получимъ безконечное разнообразіе формъ

волны, изъ которыхъ каждая, дѣйствительно, можетъ быть составлена изъ простыхъ.

Если различныя простыя волны даютъ составную волну на водяной поверхности, то ея форма остается неизмѣнной только одинъ моментъ, такъ какъ длинныя волны имѣютъ

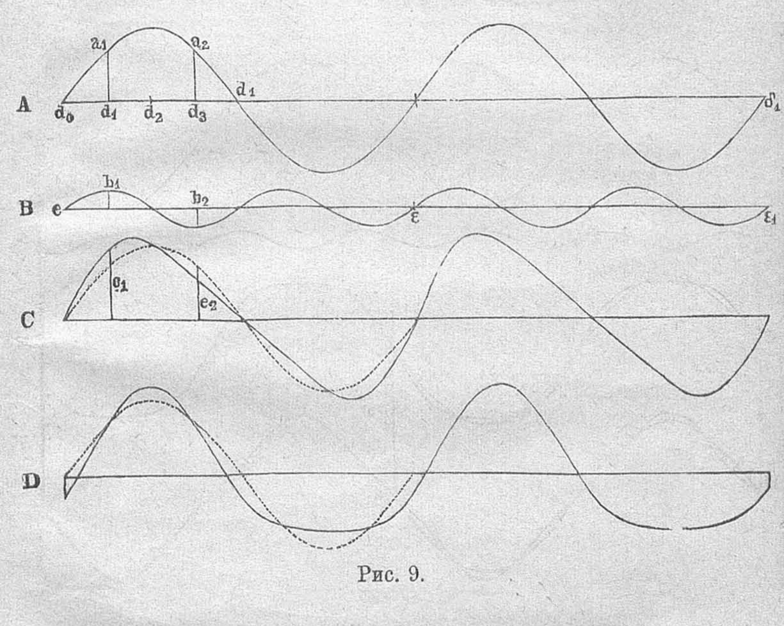


Рис. 9.

бóльшую скорость, чѣмъ короткія, и онѣ тотчасъ же вновь раздѣляются, такъ что глазъ наблюдателя можетъ замѣтить, что здѣсь было не одно, а нѣсколько волнообразныхъ движеній. Но если такъ же соединились звуковыя волны, то онѣ не раздѣляются, потому что

короткія и длинныя волны распространяются въ воздушной средѣ съ одинаковой быстротой, но волна сохраняетъ, перемѣщаясь, свою форму, и когда она достигаетъ уха, нельзя опредѣлить, представляетъ ли ея форма результатъ сложенія съ нѣсколькими попутными волнами,

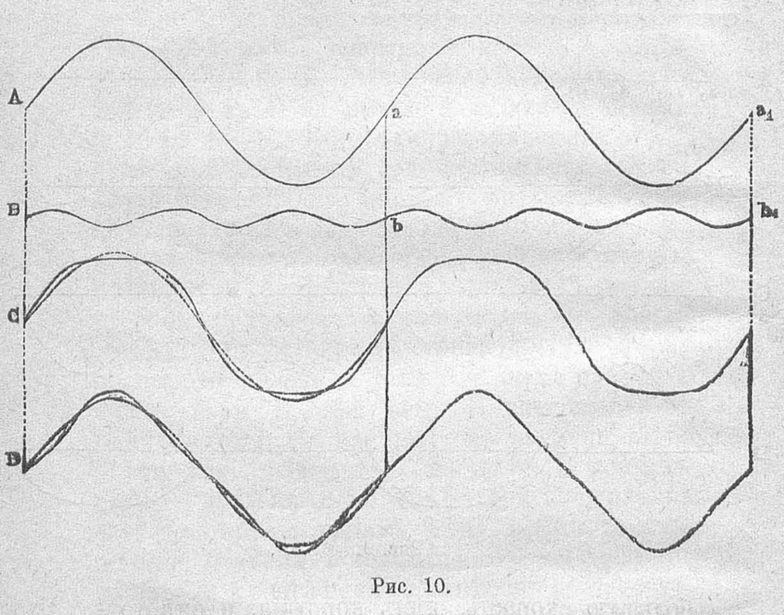


Рис. 10.

или же она возникла такою изъ музыкальнаго инструмента? Что же дѣлаетъ ухо? Разлагаетъ ли оно сложныя звуковыя волны, или воспринимаетъ ихъ какъ нѣчто цѣльное, недѣлимое? Отвѣтъ на этотъ вопросъ можетъ быть различенъ,

смотря потому, какъ его понимать. Мы должны различать два явленія: ощущеніе слухового нерва, независимо отъ всякой духовной дѣятельности, и представленіе о звукѣ, возникающее вслѣдствіе этого ощущенія; мы должны отличать„ физическое ухо“тѣла и „духовное ухо“ т. е. нашу способность представленія. Физическое ухо дѣлаетъ съ массой звуковъ то же самое, что дѣлаетъ рояль или математикъ при помощи теоремы Фурье,—оно воспринимаетъ волну, не соотвѣтствующую по формѣ простымъ волнамъ звуковъ камертона, какъ сумму простыхъ волнъ, и ощущаетъ отдѣльно звуки, соотвѣтствующіе каждой отдѣльной волнѣ, возникла ли она такою изъ источника звука, или приняла такую форму, сложившись съ другими попутными волнами.

Если ударить по струнѣ, то она издастъ звукъ, форма волны котораго значительно отличается отъ простой. Разлагая эту волну на сумму простыхъ волнъ, ухо слышитъ цѣлый рядъ простыхъ звуковъ, соотвѣтствующихъ этимъ волнамъ. Струны представляютъ собой очень подходящій матеріалъ для такого изслѣдованія, потому что онѣ сами при своемъ движеніи могутъ принимать очень различныя формы, которыя можно разсматривать, какъ составленныя, подобно воздушнымъ волнамъ, изъ простыхъ волнъ. Уже раньше были изображены смѣняющія другъ друга формы струны, задѣтой палочкой. Слѣдующій чертежъ 11 изображаетъ формы колебаній струны, соот-

вѣтствующія простымъ звукамъ. Непрерывная линія изображаетъ наибольшее отклоненіе струны отъ положенія равновѣсія въ одну сторону, пунктированная — въ другую: линіи a изображаютъ форму струны, издающей свой основной — тонъ, самый низкій простой тонъ,

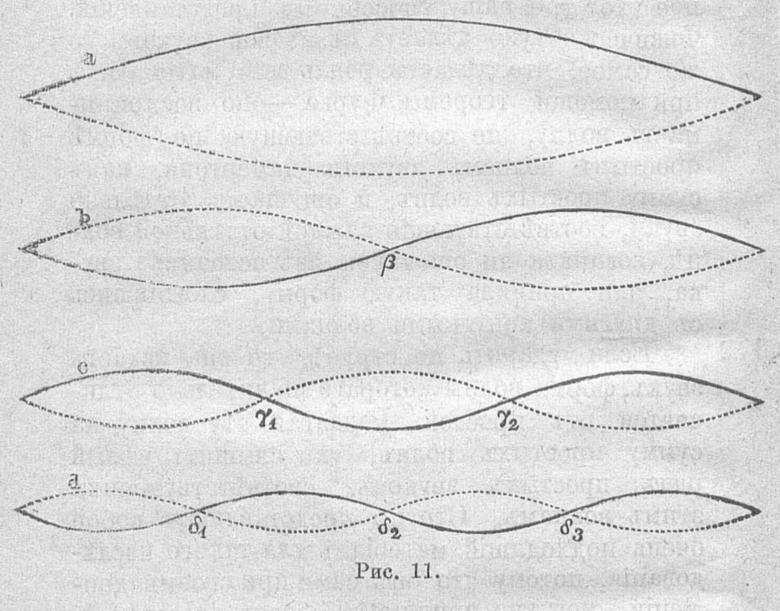


Рис. 11.

какой она можетъ дать: она колеблется по всей своей длинѣ то въ одну, то въ другую сторону. У b она раздѣляется на двѣ колеблющіяся части, между которыми находится неподвижная точка β — такъ называемый „узелъ“ теперь звукъ, издаваемый струною, представляетъ

собой верхнюю октаву основного тона, его могла бы издавать каждая изъ колеблющихся частей отдѣльно, и онъ соотвѣтствуетъ вдвое большему числу колебаній, чѣмъ основной. У c два узла и три колеблющіяся части, колебанія втрое чаще, чѣмъ у основного тона,—это его дуодецима. У d—4 колеблющіяся части и колебанія вчетверо чаще основного тона,—это вторая верхняя октава его.

Точно также возможны и колебанія съ 5, 6 и 7 и т. д. колеблющимися частями, число которыхъ въ отношеніи этихъ чиселъ болѣе числа колебаній основного тона; всѣ же остальныя формы колебаній струнъ можно
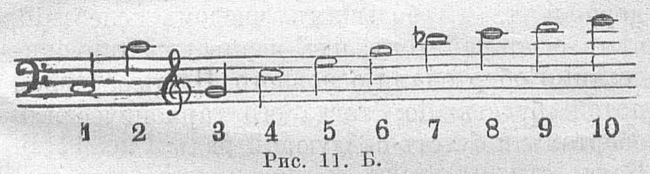


Рис. 11. Б.
Гармоническіе обертоны. Числа колебаній относятся къ основному тону, какъ 2, 3, 4 и т. д.

разсматривать какъ сумму такихъ простыхъ колебаній. Формы колебаній съ узловыми точками можно вызвать, касаясь узловой точки пальцемъ и приводя струну въ колебаніе смычкомъ, ударомъ молоточка или пальцемъ; тогда получаются, такъ называемые, флажолеты; особенно часто ими пользуются скрипачи.

Если коснуться середины β (черт. 11), звучащей струны, то форма колебаній a и c будутъ задержаны и уничтожены, тогда какъ колебанія

b и d, у которыхъ точка β и безъ того неподвижна, не будутъ подавлены этимъ прикосновенiемъ и будутъ продолжать звучать. Такъ можно обнаруживать присутствiе нѣкоторыхъ простыхъ звуковъ въ данномъ и даже дать уху возможность слышать ихъ отдѣльно. Если эти простые звуки, входящiе въ составъ сложнаго звука струны, можно было слышать отдѣльно, то при нѣкоторомъ вниманiи скоро удастся разслышать ихъ и тогда, когда струна будетъ издавать весь сложный звукъ. Рядъ звуковъ, сопровождающихъ данный основной, есть рядъ вполнѣ опредѣленный: это звуки, вызываемые вдвое, втрое, вчетверо и т. д. бóльшимъ числомъ колебанiй, чѣмъ основной тонъ, ихъ называютъ гармоническими обертонами основного. Пусть основной нотой будетъ do; тогда его гармоническими обертонами будетъ слѣдующiй рядъ: Рис. 11, Б. Какъ струны, такъ и почти всѣ остальные инструменты даютъ начало системамъ волнъ, отличнымъ отъ простыхъ системъ и составленнымъ изъ большаго или меньшаго числа ихъ. Ухо разлагаетъ эти составныя волны по теоремѣ Фурье и, при достаточномъ вниманiи, можетъ слышать отдѣльно обертоны, соотвѣтствующiе отдѣльнымъ простымъ системамъ волнъ. Это вполнѣ соотвѣтствуетъ принятой нами гипотезѣ о резонирующихъ Corti'евыхъ органахъ. Какъ опытъ съ роялью, такъ и математическая теорiя обнаруживаютъ, что не только основной тонъ, но и обертоны взятаго

звука вызываютъ явленіе резонанса. Изъ этого слѣдуетъ, что каждый пришедшій извнѣ звукъ приводитъ въ улиткѣ уха въ состояніе колебанія не только пластинку, соотвѣтствующую основному тону, и будетъ дѣйствовать не только на связанное съ нею нервное волокно, но вызоветъ сотрясеніе и въ пластинкахъ, соотвѣтствующихъ обертонамъ, такъ что послѣдніе ощущаются точно такъ же, какъ и основной тонъ.—Итакъ, простой звукъ вызывается одной системой волнъ „чистой" формы. Всѣ другія формы волны, которыя даются большинствомъ нашихъ музыкальныхъ иструментовъ, вызываютъ нѣсколько звуковыхъ ощущеній. Изъ этого слѣдуетъ, что, строго говоря, всѣ звуки нашихъ музыкальныхъ инструментовъ представляютъ собой для нашихъ ощущеній аккорды съ наиболѣе сильно выраженнымъ основнымъ тономъ. Все это ученіе объ обертонахъ покажется, быть можетъ, новымъ и удивительнымъ. Вѣроятно, только очень немногимъ изъ лицъ, обладающихъ отличнымъ музыкальнымъ слухомъ и очень часто воспринимавшихъ и, быть можетъ, даже воспроизводившихъ музыку, удавалось разслышать эти обертоны, хотя послѣдніе, какъ было доказано, сопровождаютъ звуки всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ.

Для того, чтобы ихъ разслышать, необходимъ особый актъ вниманія, а иначе они совершенно незамѣтны. Дѣло въ томъ, что всѣ наши чувственныя воспріятія суть не только

ощущенія нервныхъ аппаратовъ, но необходима еще нѣкоторая особаго рода дѣятельность души, чтобы дойти отъ ощущенія нерва до представленія о внѣшнемъ объектѣ, вызвавшемъ это ощущеніе. Ощущенія нервовъ нашихъ органовъ чувствъ являются для насъ какъ бы знаками внѣшнихъ объектовъ, и только благодаря продолжительному упражненію и опыту мы пріучаемся выводить по нимъ вѣрныя заключенія о соотвѣтствующихъ внѣшнихъ предметахъ. Но существуетъ слѣдующій общій законъ всѣхъ нашихъ чувственныхъ воспріятій: мы обращаемъ вниманіе на наши чувственныя ощущенія лишь постольку, поскольку они могутъ служить намъ средствомъ для распознаванія внѣшнихъ объектовъ. Въ этомъ отношеніи мы оказываемся узкими, односторонними приверженцами практической пользы въ гораздо бо́льшей степени, чѣмъ сами подозрѣваемъ. Обыкновенно мы склонны совершенно игнорировать всѣ ощущенія, не имѣющія непосредственнаго отношенія къ внѣшнимъ объектамъ, и начинаемъ относиться къ нимъ внимательно только при научныхъ изслѣдованіяхъ дѣятельности о̀ргановъ чувствъ или при болѣзняхъ, побуждающихъ насъ ближе слѣдить за проявленіями тѣла. Какъ часто паціенты только тогда замѣчаютъ, что у нихъ въ глазу крошки, ниточки, такъ наз. „летающія мушки“ когда уже сдѣлалось легкое воспаленіе, и это наводитъ ихъ на мрачныя мысли, такъ какъ они считаютъ эти букашки только что появившимися не-

смотря на то, что всю жизнь имѣли ихъ передъ глазами.

Кто замѣтитъ, что въ полѣ зрѣнія всякаго нормальнаго глаза есть мѣсто, котораго совсѣмъ не видно, — такъ называемое „слѣпое пятно“? Многіе ли знаютъ, что они только тотъ предметъ, которой фиксируютъ, видятъ въ его настоящемъ видѣ, а все остальное находящееся впереди или сзади него, видятъ вдвойнѣ? Я могъ бы привести цѣлый рядъ такихъ примѣровъ, обнаруженныхъ только благодаря научному изслѣдованію дѣятельности органовъ чувствъ; они упорно остаются незамѣтными, пока на нихъ не направишь вниманія особыми, подчасъ нелегкими, средствами. Недостаточно того, что слуховой нервъ ощущаетъ звукъ, необходимо еще, чтобы на него рефлектировало наше вниманіе. Вотъ почему я и отдѣлялъ „физическое ухо“ отъ „духовнаго“.

Звукъ струны всегда сопровождается опредѣленнымъ рядомъ обертоновъ; другой, также вполнѣ опредѣленный рядъ обертоновъ сопровождаетъ звуки флейты, человѣческаго голоса или воя собаки. Находится ли вблизи скрипка или флейта, человѣкъ или собака, — это насъ интересуетъ, и поэтому наше ухо привыкаетъ отличать особенности этихъ звуковъ; но что собственно отличаетъ ихъ другъ отъ друга — это для насъ безразлично. Содержится ли въ голосѣ собаки верхняя октава или дуодецима основного тона,—этотъ вопросъ лишенъ всякаго

практическаго интереса, и вотъ почему не онъ является объектомъ нашего вниманія. Такъ мы не замѣчаемъ обертоновъ за особенностями звука, называемыми тембромъ. Но такъ какъ существованіе обертоновъ зависитъ отъ формы волнъ, то тембръ соотвѣтствуетъ, какъ я говорилъ уже и раньше, формѣ волнъ. Легче всего можно разслышать обертоны, когда они не гармоничны съ основнымъ тономъ, какъ, напримѣръ, у колоколовъ. Искусство лить колокола заключается въ томъ, чтобы придать имъ такую форму, при которой наиболѣе сильные и низкіе обертоны гармоничны съ основнымъ, иначе получается немузыкальный звукъ; поэтому звуки колоколовъ не подходятъ для музыки, какъ искусства. Кромѣ того, ясно, что разслышать обертоны тѣмъ труднѣе, чѣмъ чаще приходилось воспринимать ихъ въ сложномъ звукѣ; поэтому старанія многихъ даже умѣлыхъ и опытныхъ изслѣдователей разслышать обертоны человѣческаго голоса оказались тщетными. Вышеизложенный взглядъ на эти явленія подтверждается еще тѣмъ, что изъ него можно вывести методъ, благодаря которому мнѣ удалось какъ самому разслышать обертоны человѣческихъ голосовъ, такъ и сдѣлать другимъ доступнымъ отдѣльное воспріятіе ихъ.

При этомъ не потребовалось особенно развитаго музыкальнаго слуха, какъ думали до сихъ поръ: надо было только при помощи соотвѣтствующихъ средствъ направить извѣстнымъ образомъ вниманіе.

Пусть сильный мужской голосъ пропоетъ гласную О на mi^{6}. Возьмемъ потомъ на рояли возможно тише si^{6} слѣдующей одночерточной октавы, и внимательно прислушаемся къ этому звуку; такъ какъ онъ составляетъ обертонъ звука голоса, то онъ будетъ намъ казаться продолженіемъ звука рояли. При соотвѣтствующихъ измѣненіяхъ условій этого опыта мы обнаружимъ, что различіе гласныхъ звуковъ обусловливается свойственными каждому изъ нихъ обертонами. Этотъ опытъ будетъ еще легче, если вооружить ухо стекляннымъ или металлическимъ полымъ шаромъ (черт. 12). Его широкое отверстіе *a* надо обратить къ источнику звука, а болѣе узкое воронкообразное отверстіе b слѣдуетъ вставить въ слуховой проходъ. Почти совсѣмъ ограниченная воздушная масса внутри шара имѣетъ свой собственный опредѣленный тонъ, который будетъ слышенъ, если дуть на края отверстія *a*. Если основной тонъ или обертонъ какого-нибудь звука будетъ соотвѣтствовать по высотѣ тону шара, то воздушная масса внутри него обнаружитъ явленіе резонанса, и этотъ звукъ передается соединенному съ резонаторомъ уху усиленнымъ. При помощи такого резонатора легко рѣшить, содержится ли его тонъ въ извѣстной массѣ звуковъ или нѣтъ. Если изслѣдовать гласные звуки человѣческихъ голосовъ, то при помощи резонаторовъ обнаруживается, что обертоны каждаго отдѣльнаго гласнаго звука особенно сильны на извѣстныхъ ступеняхъ гаммы: такъ,

обертоны гласнаго О особенно сильны около si^6.

Вотъ наиболѣе сильно выраженные обертоны нѣкоторыхъ гласныхъ: Рис. 12, Б.
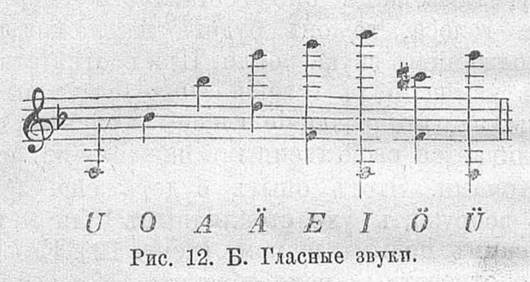


Рис. 12. Б. Гласные звуки.

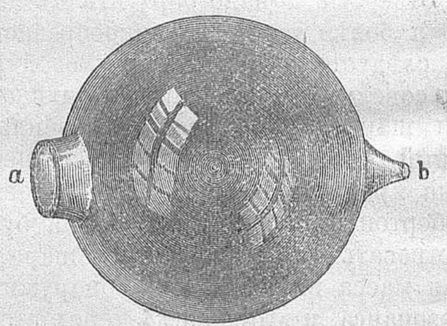


Рис. 12. Резонаторъ.

Слѣдующій опытъ, который произвести очень легко, доказываетъ, что безразлично, исходятъ ли различные простые звуки, входящіе въ составъ сложнаго, какъ напримѣръ гласныхъ человѣческаго голоса, изъ одного источника, или изъ нѣскольких. Если поднять правую педаль

рояли, и пропѣть гласный звукъ А какой-нибудь высоты, то рояль явственно отзовется звуками А той же высоты; если пропѣть гласные Е, О или У, то рояль отвѣтитъ Е, О или У; надо только взять ноту вполнѣ тождественную по высотѣ съ какой-нибудь нотой рояли. Откликъ рояли на гласные происходитъ отъ того, что струны, соотвѣтствующія по высотѣ гармоническимъ обертонамъ голоса, резонируютъ на нихъ. Если на эти струны наложить педаль и, такимъ образомъ, лишить ихъ способности издавать звуки, то, при повтореніи прежняго опыта, разницы между откликами на различные гласные не окажется. Итакъ, при этомъ опытѣ, звукомъ, исходящимъ изъ одного источника, вызываются звуки нѣсколькихъ струнъ, производимые движеніемъ воздуха, вполнѣ тождественнымъ по формѣ, — а слѣдовательно и по тембру, — съ простыми звуками.

До сихъ поръ мы говорили только о сложеніи волнъ различной длины. Теперь мы займемся сложеніемъ волнъ одинаковой длины, распространяющихся по одному направленію. Тутъ результаты будутъ различны: если подъемы одной системы волнъ совпадаютъ съ подъемами другой, то возникаетъ новая система съ подъемами и впадинами двойной высоты; или-же подъемы одной системы какъ разъ совпадаютъ съ впадинами другой, то и подъемы, и впадины исчезнутъ и системы уничтожатъ одна другую. Звуковыя волны, такъ же какъ и морскія, могутъ разбивать другъ друга, если сгущенныя

части одной системы совпадутъ съ разрѣженными другой. Это замѣчательное явленіе, гдѣ одинъ звукъ уничтожаетъ другой той же высоты, носитъ названіе „интерференціи" звуковъ. Это легко доказать при помощи вышеупомянутой сирены: если поставить верхній ящикъ такъ, что въ двѣнадцати отверстіяхъ обоихъ ящиковъ толчки воздуха возникаютъ одновременно, то они взаимно усиливаются, и основной тонъ слышится полнымъ и сильнымъ. Но если верхній ящикъ поставить такъ, что толчки воздуха сверху идутъ тогда, когда нижнія отверстія закрыты, или наоборотъ, то основной тонъ совсѣмъ пропадетъ и только чуть будетъ слышенъ первый обертонъ — верхняя октава, который не уничтожается интерференціей. Интерференція ведетъ насъ къ такъ называемымъ біеніямъ или толчкамъ звуковъ. Если два одновременно услышанные звука имѣютъ одинаковый періодъ колебанія, и вначалѣ ихъ подъемы совпали, то они и все время будутъ совпадать, а разъ они вначалѣ не совпали, то никогда уже не совпадутъ.

При вышеизложенныхъ условіяхъ оба звука будутъ или все время усиливать другъ друга или ослаблять. Но если періоды ихъ колебаній только приблизительно равны, и ихъ подъемы сначала совпадаютъ, такъ что они усиливаютъ другъ друга, то одна система будетъ понемногу опережать другую, и подъемы первой будутъ совпадать то съ впадинами, то съ подъемами же другой,—что будетъ проявв-

ляться въ перемѣнныхъ повышеніяхъ и пониженіяхъ силы звука, называемыхъ „біеніями“. Такія біенія (Schwebungen) можно часто слышать, когда два настроенные не совсѣмъ въ унисонъ инструмента берутъ одну и ту же ноту. Двѣ или три струны разстроенной рояли, ударяемыя однимъ и тѣмъ же молоточкомъ, даютъ очень сильныя біенія. Медленныя и равномѣрныя біенія звучатъ очень красиво, особенно при многоголосномъ церковномъ пѣніи, когда они то проносятся по высокимъ сводамъ могучими волнами, то сообщаютъ слегка дрожащему звуку оттѣнокъ мольбы и умиленія.

Чѣмъ больше разность періодовъ колебаній, тѣмъ чаще происходящія отъ нея біенія. Если въ секунду происходитъ не болѣе 4—6 біеній, то ухо легко слышитъ отдѣльно перемѣнныя усиленія и ослабленія звука. При болѣе быстрыхъ біеніяхъ звукъ кажется скрипящимъ или, если онъ высокъ, звенящимъ. Скрипящій звукъ и есть звукъ, часто прерываемый, похожій на согласный R, возникающій благодаря тому, что мы прерываемъ звукъ голоса дрожаніемъ языка или нёба. Когда біенія становятся все чаще и чаще, то нашему уху дѣлается все труднѣе и труднѣе слышать каждое изъ нихъ отдѣльно, но шероховатости и непріятность звука сохраняются. Наконецъ, біеній уже совсѣмъ нельзя разслышать, и они, какъ и отдѣльныя колебанія воздуха, составляющія звуки, вызываютъ одно непрерывное ощущеніе. Каждый отдѣльный музыкальный тонъ вызы-

ваетъ въ слуховомъ нервѣ равномѣрное, длительное ощущеніе, но два тона не совсѣмъ одинаковой высоты разстраиваютъ и раздѣляютъ другъ друга на мгновенные прерывистые звуки, вызывающіе въ слуховомъ нервѣ прерывистыя возбужденія, которыя столь же непріятны уху, какъ подобное-же прерывистое и часто повторяющееся раздраженіе другихъ чувствительныхъ органовъ, напримѣръ, трепещущій, мерцающій свѣтъ нашему глазу или царапаніе щеткой нашей кожи. Эта шероховатость звука и есть существенный признакъ диссонанса. Такіе звуки всего болѣе непріятны уху, когда интервалъ между ними равняется полутону, при чемъ ноты средняго регистра даютъ отъ 20 до 40 біеній въ секунду. При интервалѣ въ одинъ тонъ непріятность звука гораздо меньше, а при терціи уже почти совсѣмъ исчезаетъ, такъ что терція считается консонансомъ. Если интервалъ основныхъ тоновъ такъ великъ, что они не даютъ замѣтныхъ для уха біеній, то обертоны могутъ давать біенія и дѣлаютъ звукъ непріятнымъ. Если два тона образуютъ квинту, то-есть одинъ совершаетъ два колебанія въ такой же промежутокъ времени, въ какой второй совершаетъ три, то у нихъ есть общій обертонъ, совершающій въ такой же промежутокъ времени шесть колебаній. Если отношеніе чиселъ колебаній основныхъ тоновъ точно равняется 2 : 3, то высоты упомянутыхъ ихъ обертоновъ также точно равны и не разстраиваютъ гар-

моніи основныхъ тоновъ; если же это отношеніе только приблизительно равно 2 : 3, то обертоны не совсѣмъ одинаковы, даютъ біенія и звукъ становится дисгармоничнымъ. Намъ очень часто представляется возможность слышать такія біенія нечистыхъ квинтъ, потому что при нашей теперешней системѣ настраиванія всѣ квинты роялей нечисты. При помощи соотвѣтственно настроеннаго резонатора легко обнаружить, что дѣйствительно колебанія упомянутаго обертона имѣютъ мѣсто. Эти колебанія, понятно, слабѣе колебаній основного тона, такъ какъ бьющіеся обертоны вообще слабѣе основныхъ. Если мы большею частью не слышимъ отчетливо этихъ бьющихся обертоновъ, то ухо всетаки чувствуетъ ихъ вліяніе, какъ неровность и шероховатость общаго звукового ощущенія, между тѣмъ какъ вполнѣ чистая квинта, отношеніе періодовъ колебаній которой точно равняется 2 : 3, звучитъ вполнѣ равномѣрно безъ всякаго измѣненія, усиленія или ослабленія и безъ малѣйшей шероховатости. Уже раньше было указано, какъ просто можно доказать при помощи сирены, что чистая квинта точно соотвѣтствуетъ упомянутому отношенію чиселъ колебаній; теперь же мы ознакомились и съ причиной этой непріятности звука, обусловливаемой какимъ-либо отклоненіемъ отъ этого отношенія.

Точно также звуки, числа колебаній которыхъ относятся какъ 3 : 4 или какъ 4 : 5,— которые, слѣдовательно, образуютъ чистую

кварту или чистую терцію,—кажутся намъ болѣе благозвучными, чѣмъ тѣ, которые немного отклоняются отъ этого отношенія. Такимъ образомъ для каждаго основного тона существуютъ вполнѣ опредѣленной высоты гармоничные звуки, не вызывающіе неровности или шероховатости тона, или, по меньшей мѣрѣ, вызывающіе въ созвучіи съ основнымъ тономъ болѣе пріятное ощущеніе, чѣмъ смежные съ ними по высотѣ.

Этимъ и обусловливается то, что въ новѣйшей музыкѣ, которая въ значительной степени основывается на гармоніи консонирующихъ звуковъ, приходится пользоваться тонами только извѣстныхъ, точно опредѣленныхъ высотъ. Можно доказать, что и въ древней, одноголосной музыкѣ, которая не пользовалась гармоніей, предпочтеніе послѣдовательности извѣстныхъ звуковъ вызывалось существованіемъ у нихъ общаго обертона, такъ какъ оно обусловливаетъ извѣстное, доступное нашему слуху, сродство между звуками. Но для того, чтобы подробнѣе разобрать это, намъ пришлось бы слишкомъ углубиться въ исторію музыки. Я желалъ бы только добавить, что существуетъ еще другой родъ побочныхъ тоновъ,— такъ называемые „комбинаціонные“ тона, которые слышны только въ созвучіи нѣсколькихъ сильныхъ звуковъ различной высоты; они тоже могутъ давать біенія и вызывать шероховатость звука. Если на сиренѣ, на хорошо настроенномъ органѣ или на скрипкѣ взять

терцію do, mi (отношеніе чиселъ колебаній равно 4:5), то вмѣстѣ съ нею слышно слабое комбинаціонное Do, которое на 2 октавы ниже, чѣмъ do. То же самое do слышно, если взять одновременно звуки mi и sol (отношеніе чиселъ колебаній равно 5 : 6).

Если взять одновременно три ноты do, mi и sol и если ихъ отношеніе точно равняется 4 : 5 : 6, то получаются 2 комбинаціонныхъ тона, вполнѣ тожественныхъ другъ съ другомъ и, слѣдовательно, не дающихъ біеній; но если эти три ноты не совсѣмъ точно настроены, то комбинаціонные тоны Do нѣсколько отличаются другъ отъ друга и даютъ медленныя біенія.

Комбинаціонные тоны обыкновенно гораздо слабѣе, чѣмъ обертоны, и поэтому они играютъ роль только при звукахъ, не имѣющихъ почти никакихъ обертоновъ, какъ у закрытыхъ трубъ органа или у флейтъ. Но несомнѣнно, что именно поэтому въ музыкѣ этихъ инструментовъ почти нельзя отличить гармоніи отъ дисгармоніи; потому то она и кажется намъ неопредѣленной и не характерной. Всѣ красивые музыкальные тембры должны скорѣе изобиловать обертонами, въ особенности пятью первыми, образующими октавы, квинты и терціи основного тона, и въ органы вставляютъ нарочно побочныя трубы, соотвѣтствующія ряду гармоничныхъ обертоновъ дающей основной тонъ трубы, чтобы получить звуки полнаго и сочнаго тембра для аккомпанемента

хоровому пѣнію, такъ что и здѣсь можно видѣть, какую важную роль играютъ обертоны въ художественномъ воспроизведеніи музыки. Теперь мы дошли до самой основы ученія о гармоніи. Гармонія отличается отъ дисгармоніи тѣмъ, что въ первой звуки льются совмѣстно, нисколько не измѣняя другъ друга, тогда какъ во второй они разстраиваютъ и уничтожаютъ другъ друга: вотъ къ какому заключенію вели всѣ предшествующія разсужденія. Затѣмъ, біенія или толчки основываются на интерференціи волнообразныхъ движеній; слѣдовательно, звукъ есть волнообразное движеніе. Съ другой стороны, для опредѣленія гармоническихъ интерваловъ оказалась необходимою способность уха ощущать обертоны и разлагать по теоремѣ Фурье составныя волны на простыя. На теоремѣ Фурье основывается и то, что обертоны музыкальныхъ звуковъ относятся къ основному, какъ цѣлыя числа къ единицѣ, и что отношенія чиселъ колебаній гармоническихъ интерваловъ соотвѣтствуютъ наименьшимъ цѣлымъ числамъ. Намъ нѣсколько выяснится, насколько важна упомянутая способность нашего уха, если мы сравнимъ его съ глазомъ: и свѣтъ представляетъ собой волнообразное движеніе, и онъ обнаруживаетъ явленіе интерференціи; и его волны также имѣютъ различные періоды колебанія, вызывая, благодаря этому, ощущеніе различныхъ цвѣтовъ. Волны наиболѣе продолжительнаго періода колебанія вызываютъ ощу-

щеніе краснаго цвѣта, менѣе продолжительнаго—оранжеваго, затѣмъ желтаго, зеленаго, синяго, голубого и фіолетоваго; періодъ колебанія фіолетоваго цвѣта вдвое короче крайняго краснаго. Но глазъ не можетъ разлагать составныя системы свѣтовыхъ колебаній (т. е. составные цвѣта); поэтому для него безразлично, относятся ли колебанія входящихъ въ составъ смѣшаннаго простыхъ цвѣтовъ, какъ цѣлыя простыя числа, или нѣтъ: для глаза не существуетъ гармоніи въ томъ смыслѣ, какъ для уха; глазъ не имѣетъ музыки.

Эстетика находитъ сущность прекраснаго въ той правдѣ, въ томъ разумномъ соотвѣтствіи, дѣйствію которыхъ мы безсознательно подчиняемся при воспріятіи всякаго истинно художественнаго произведенія.

Я попытался сегодня приподнять завѣсу съ таинственнаго закона, обусловливающаго благозвучность гармоническихъ аккордовъ. Этотъ законъ дѣйствуетъ независимо отъ нашего сознанія, поскольку онъ касается обертоновъ, о которыхъ мы не имѣемъ сознательнаго представленія, хотя они и ощущаются нашимъ нервомъ,—о пріятности или непріятности которыхъ намъ говоритъ наше чувство, хотя мы не знаемъ ихъ причины. Эти явленія чисто чувственнаго благозвучія представляютъ собою, конечно, только самую низкую степень музыкально-прекраснаго. Для болѣе высокой, духовной красоты музыки, гармонія и дисгармонія являются только орудіемъ,—но

орудіемъ сильнымъ и могучимъ. Непрерывные толчки бьющихся, дисгармоничныхъ звуковъ терзаютъ нервы, вызываютъ желаніе гармоніи, чтобы успокоиться и наслаждаться ровнымъ потокомъ ея звуковъ: такъ они успокаиваютъ и возмущаютъ теченіе звуковъ, въ движеніи которыхъ душа наша чувствуетъ какъ бы отраженнымъ движеніе своихъ настроеній и представленій. Періодическое и все-таки, постоянно мѣняющееся движеніе приковываетъ къ себѣ и, какъ бушующее море, уноситъ съ собой.

Но волненіе моря есть результатъ слѣпого проявленія только механическихъ силъ природы, такъ что оно все-таки оставляетъ въ душѣ наблюдателя впечатлѣніе чего-то пустого, неодухотвореннаго, тогда какъ движеніе звуковъ есть продуктъ творчества вдохновенной души артиста. Эта рѣка звуковъ, то мирно и нѣжно переливаясь, то внезапно прерываясь и начиная бурлить, полная мощи, полная внезапныхъ порывовъ страсти, переноситъ въ душу слушателя настроенія, навѣянныя вдохновеніемъ артиста, возноситъ ее въ царство вѣчной красоты,—въ то царство, о которомъ намъ возвѣщаютъ только немногіе избранники природы.

М. М. Филипповъ.

Философія дѣйствительности.

Изъ оглавленія: *Изъ I части.* Метафизика и наука. Древность. Средніе вѣка. Новое время. Ламаркъ. Преформисты и эпигенетики. Бэръ. Палеонтологія. Дарвинизмъ. Витализмъ. Рефлексъ, инстинктъ, разумъ. Соціальная эволюція. Семья и собственность. Прогрессъ умственный и нравственный. Экономическій матеріализмъ. О субъективномъ методѣ. Развитіе личности и учрежденій. *Изъ II части.* Вещество и сила. Критика матеріализма. Превращеніе энергіи. Энтропія. Начало наименьшаго дѣйствія. *Изъ III части.* Границы познанія. Позитивизмъ, агностицизмъ, критицизмъ.

Подписная цѣна (большой томъ, роскошное изданіе въ 640 стр. съ рис. и табл.) **пять** р. (съ перес. **шесть** р.) **По выходѣ въ свѣтъ, цѣна будетъ увеличена.** Всего **4** выпуска. 2-й вып. печатается.

Подписчики по желанію пользуются разсрочкой: при подпискѣ **три** рубля, затѣмъ по выходѣ второго выпуска еще **три** рубля (съ пересылкой).

Цѣна 30 коп. (съ перес. 35 коп).

Собраніе сочиненій ГЕЛЬМГОЛЬЦА

издаваемое **М. М. Филипповымъ.**

(редакторомъ „Научнаго Обозрѣнія").

Будетъ выходить выпусками цѣною въ **30** коп. каждый (50 стр. и болѣе въ каждомъ выпускѣ). Въ это собраніе войдутъ: **всѣ популярныя статьи ГЕЛЬМГОЛЬЦА. всѣ его капитальныя работы по физіологіи чувствъ и избранные спеціальные мемуары.**
